

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



525518



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
11. März 2004 (11.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/020952 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01D 5/12

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/005675

(22) Internationales Anmeldedatum:  
30. Mai 2003 (30.05.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 39 904.2 30. August 2002 (30.08.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): HORST SIEDLE GMBH & CO. KG [DE/DE];  
78120 Furtwangen (DE).

[DE/DE]; Ahornweg 6, 71272 Renningen (DE).  
MATTHEIS, Roland [DE/DE]; Talstrasse 36, 07743  
Jena (DE). DIEGEL, Marco [DE/DE]; Stumpfenburgweg  
5, 07743 Jena (DE). STEENBECK, Klaus [DE/DE];  
Buchaer Strasse 8b, 07745 Jena (DE).

(74) Anwalt: SCHÄFER, Wolfgang; Dreiss, Fuhlendorf,  
Steimle & Becker, Postfach 10 37 62, 70032 Stuttgart  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

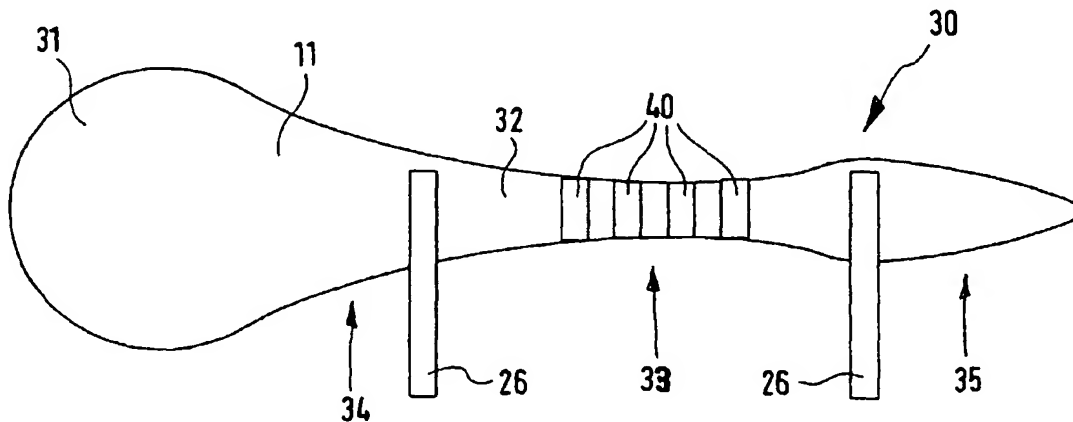
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SENSOR ELEMENT FOR REVOLUTION COUNTER

(54) Bezeichnung: SENSORELEMENT FÜR EINEN UMDREHUNGSZÄHLER



(57) Abstract: The invention concerns a sensor element (11) designed in particular for a revolution counter (10). It is possible to pass a magnetic field in front of said sensor element (11). The latter (11) has a laminated structure (20) and a shape (30) such that power supply is not needed to cause a modification of magnetization in the sensor element (11) when the magnetic field passes in front thereof, and in that several such modifications can be stored.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Sensorelement (11) insbesondere für einen Umdrehungszähler (10) beschrieben. Ein magnetisches Feld kann an dem Sensorelement (11) vorbeibewegt werden. Das Sensorelement (11) weist einen Schichtaufbau (20) und eine Gestalt (30) auf, die ohne eine Energieversorgung dazu geeignet sind, in dem Sensorelement (11) eine Veränderung der Magnetisierung hervorzurufen, wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement (11) vorbeibewegt wird, sowie mehrere derartige Veränderungen zu speichern.

WO 2004/020952 A2



---

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Titel:                    Sensorelement für einen Umdrehungszähler**

### **Beschreibung**

#### **Stand der Technik**

Die Erfindung betrifft ein Sensorelement insbesondere für einen Umdrehungszähler, wobei ein magnetisches Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt werden kann.

Beispielsweise im Zusammenhang mit einer Lenkwelle eines Kraftfahrzeugs ist es bekannt, einen Winkelsensor vorzusehen, mit dem die exakte Winkelstellung der Lenkwelle gemessen werden kann. Ein derartiger Winkelsensor ist aus der EP 0 721 563 B1 bekannt. Dort ist ein Winkelsensor beschrieben, bei dem von zwei schwenkbaren Magneten eine Domänenwand in einem ortsfesten magnetischen Schichtaufbau erzeugt wird. Es kann dann mit Hilfe des Giant Magneto Resistance (GMR) Effekts diejenige Winkelstellung ermittelt werden, die die beiden Magnete einnehmen.

Das Sensorelement der EP 0 721 563 B1 ist nur dazu geeignet, eine Winkelstellung innerhalb eines Winkelbereichs von weniger als 360 Grad zu erkennen. Das bekannte Sensorelement ist jedoch nicht in der Lage, mehrere Umdrehungen der beiden Magnete zu erkennen. Ein Umdrehungszähler, mit dem die Anzahl von Umdrehungen der beiden Magnete ermittelbar ist, kann deshalb mit dem bekannten Sensorelement nicht realisiert werden.

Da jedoch die Lenkwelle eines Kraftfahrzeugs um mehrere Umdrehungen gedreht werden kann, ist es erforderlich, zusätzlich zu dem Winkelsensor einen Umdrehungszähler vorzusehen, der in der Lage ist, die exakte Anzahl an Umdrehungen anzugeben, um die die Lenkwelle gedreht worden

ist. Häufig wird ein derartiger Umdrehungszähler mit einem Winkelsensor kombiniert, so dass dann die Drehstellung der Lenkwelle hinsichtlich der Anzahl der Umdrehungen sowie hinsichtlich der Winkelstellung angegeben werden kann.

Es sind beispielsweise berührungslose Umdrehungszähler bekannt, bei denen ein magnetisches Feld an einem Sensorelement vorbeibewegt wird. Das magnetische Feld wird beispielsweise durch einen Permanentmagneten erzeugt, der an der Lenkwelle des Kraftfahrzeugs angebracht und mit dieser drehbar ist. Bei dem Sensorelement handelt es sich beispielsweise um einen Hall-Sensor, der somit jedes Mal, wenn das magnetische Feld an ihm vorbeibewegt wird, ein elektrisches Signal erzeugt. In Abhängigkeit von diesen Signalen kann auf die Anzahl an Umdrehungen geschlossen werden, um die die Lenkwelle gedreht worden ist.

Der Nachteil der bekannten Umdrehungszähler besteht darin, dass zu deren Betrieb eine Energieversorgung vorhanden sein muss. So ist es beispielsweise erforderlich, den Hall-Sensor mit einer Spannung zu versorgen, damit von diesem ein Signal erzeugt werden kann, wenn sich ein magnetisches Feld an ihm vorbeibewegt.

Bei einem Ausfall der Energieversorgung sind die bekannten Umdrehungszähler somit nicht mehr funktionsfähig und müssen darüber hinaus nach einem derartigen Ausfall der Energieversorgung durch zusätzliche Maßnahmen auf die gegebenenfalls veränderte Anzahl an Umdrehungen neu eingestellt werden.

An dieser Stelle sei zur Vervollständigung darauf hingewiesen, dass natürlich nicht nur das magnetische Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt werden kann, sondern dass auch umgekehrt das Sensorelement an dem magnetischen Feld vorbeibewegt werden kann.

### Aufgabe, Lösung und Vorteile der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Sensorelement insbesondere für einen Umdrehungszähler zu schaffen, das auch ohne eine Energieversorgung in der Lage ist, immer die exakte Anzahl z.B. an Umdrehungen anzugeben, um die z.B. die Lenkwelle gedreht worden ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Sensorelement insbesondere für einen Umdrehungszähler gelöst, bei dem ein magnetisches Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt werden kann, und das einen Schichtaufbau und eine Gestalt aufweist, die ohne eine Energieversorgung dazu geeignet sind, in dem Sensorelement eine Veränderung der Magnetisierung hervorzurufen, wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt wird, sowie mehrere derartige Veränderungen zu speichern.

Die Erfindung wird ebenfalls durch einen Umdrehungszähler realisiert, bei dem ein erfindungsgemäßes Sensorelement verwendet ist.

Bei der Erfindung entsteht eine Veränderung der Magnetisierung in dem Sensorelement, wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt wird. Diese Veränderung der Magnetisierung wird von dem Sensorelement gespeichert. Wird das magnetische Feld mehrfach an dem Sensorelement vorbeibewegt, so werden mehrere Veränderungen der Magnetisierung in dem Sensorelement gespeichert. Die Anzahl der gespeicherten Veränderungen entspricht somit derjenigen Anzahl, die angibt, wie oft das magnetische Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt worden ist. Wie noch erläutert werden wird, stellen diese gespeicherten Veränderungen der Magnetisierung eine Eigenschaftsänderung des Sensorelements dar, die mit Hilfe von bekannten Verfahren

erkannt bzw. gemessen werden kann.

Im Falle eines Umdrehungszählers, bei dem bei jeder Umdrehung das magnetische Feld ein Mal an dem Sensorelement vorbeibewegt wird, entspricht somit die Anzahl der in dem Sensorelement gespeicherten Veränderungen der Magnetisierung der Anzahl der gezählten Umdrehungen.

Wesentlich ist, dass die Veränderung der Magnetisierung bei dem erfindungsgemäßen Sensorelement ohne jegliche externe Energieversorgung erreicht wird. Statt dessen wird die Veränderung der Magnetisierung des Sensorelements alleine durch dessen Schichtaufbau und dessen Gestalt erreicht.

Die Erfindung stellt somit ein Sensorelement insbesondere für einen Umdrehungszähler zur Verfügung, der eine fortlaufende, berührungslose Erfassung der Anzahl z.B. der Umdrehungen ermöglicht, ohne dass hierzu eine Energieversorgung erforderlich ist. Auch bei einem Ausfall der Energieversorgung bleibt das erfindungsgemäße Sensorelement ohne weitere Maßnahmen funktionsfähig. Es müssen somit nach einem derartigen Ausfall der Energieversorgung keinerlei Maßnahmen für den weiteren korrekten Betrieb des Sensorelements getroffen werden.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung entsteht in dem Sensorelement eine Domänenwand, insbesondere eine 360°-Grad Wand, wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt wird, wobei mehrere 360°-Wände in dem Sensorelement speicherbar sind.

Wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement vorbeibewegt wird (bzw. umgekehrt), ändert sich in dem magnetischen Schichtaufbau des Sensorelements die Magnetisierung. Diese Veränderung der Magnetisierung kann z.B. die Erzeugung einer Domänenwand oder die Ummagnetisierung einer Fläche im Sensor

sein. In einer Domänenwand dreht sich die Magnetisierung auf engem Raum z.B. um  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  oder  $360^\circ$  (sogenannte  $90^\circ$ -,  $180^\circ$ - und  $360^\circ$ -Wand). Von diesen Domänenwänden ist die  $360^\circ$ -Wand die gegenüber äußeren Magnetfeldern stabilste Konfiguration. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht die Erzeugung und Speicherung von  $360^\circ$ -Wänden in dem magnetischen Schichtaufbau vor.

Wenn das magnetische Feld an dem erfindungsgemäßen Sensorelement vorbeibewegt wird (bzw. umgekehrt), wird aufgrund der geometrischen Form und den magnetischen Eigenschaften des Sensorelements innerhalb seines magnetischen Schichtaufbaus eine Domänenwand erzeugt. Nach einer Umdrehung des magnetischen Felds hat sich diese Domänenwand zu einer  $360^\circ$ -Wand ausgebildet. Der Drehsinn der Magnetisierung innerhalb der  $360^\circ$ -Wand folgt dem Drehsinn des Magnetfelds zum Sensorelement. Wird das Magnetfeld entgegengesetzt gedreht, baut sich eine  $360^\circ$ -Wand auf, deren Drehsinn ebenfalls entgegengesetzt ist.

Wie erwähnt wurde, wird bei dieser bevorzugten erfindungsgemäßen Lösung eine  $360^\circ$ -Wand in dem Sensorelement erzeugt und gespeichert, wenn das magnetische Feld einmal um das Sensorelement (oder umgekehrt) gedreht wird. Dies bedeutet, dass nach einer Umdrehung z.B. einer mit einem geeigneten Permanentmagneten versehenen Lenkwelle bei dieser erfindungsgemäßen Lösung genau eine  $360^\circ$ -Wand in dem Sensorelement erzeugt und gespeichert worden ist.

Für die Erzeugung und Aufrechterhaltung bzw. Speicherung der Domänenwand ist keine Energieversorgung notwendig. Notwendig sind lediglich ein hinreichend großes Magnetfeld, eine geeignete geometrische Form und geeignete magnetische Eigenschaften zumindest von Teilen des Sensorelements.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist das

Sensorelement so gestaltet, dass es mehr als eine 360°-Wand speichern kann. Hierdurch können fortlaufend zu jeglichen Umdrehungen beispielsweise der Lenkwelle entsprechend viele 360°-Wände in dem Sensorelement erzeugt und gespeichert werden. Wie schon erwähnt wurde, baut sich eine 360°-Wand auf, deren Drehsinn ebenfalls entgegengesetzt ist, wenn das Magnetfeld entgegengesetzt gedreht wird. 360°-Wände mit entgegengesetztem Drehsinn lösen sich auf, wenn sie zusammenstoßen.

Aufgrund der geometrischen Struktur und den magnetischen Eigenschaften des erfindungsgemäßen Sensorelements ist es gewährleistet, dass sich gegensinnig drehende 360°-Wände treffen und damit gegenseitig auslöschen. Durch diese Eigenschaft kann dem erfindungsgemäßen Sensorelement eine Nullposition zugeordnet werden, von der aus es Umdrehungen links- und rechtsherum zählen kann. Das Sensorelement registriert alle Umdrehungen, zählt aber immer nur die Anzahl von Umdrehungen, die aktuell übrig bleiben. Dies bedeutet, dass das erfindungsgemäße Sensorelement immer den Betrag der Differenz der Anzahl Umdrehungen rechtsherum minus der Anzahl Umdrehungen linksherum aufweist. Zum Beispiel ist in dem Sensorelement nach vier Umdrehungen rechts herum und anschließend drei Umdrehungen links herum genau eine 360°-Wand für eine Umdrehung rechts herum gespeichert, die die aktuelle Umdrehung der Lenkwelle bezüglich der Nullposition angibt.

Für die Erzeugung und Speicherung von Veränderungen der Magnetisierung, insbesondere von 360°-Wänden, ist keine Energieversorgung notwendig. Somit hat auch ein Energieausfall keine Auswirkung auf die Registrierung und Zählung einer Umdrehung z.B. der Lenkwelle. Während eines Energieausfalls zählt das erfindungsgemäße Sensorelement nach wie vor die Umdrehungen. Die aktuelle Anzahl an Umdrehungen kann während eines Energieausfalles unter Umständen nicht



ausgelesen werden. Sobald die Energieversorgung nach dem Ausfall wieder vorhanden ist, ist die aktuelle Umdrehungszahl jedoch ohne weitere Maßnahmen wieder aus dem Sensorelement auslesbar.

Wie bereits erwähnt wurde, stellen die gespeicherten Veränderungen der Magnetisierung eine Eigenschaftsänderung des Sensorelements dar. Bevorzugte erfindungsgemäße Lösungen verwenden zum Erkennen bzw. Messen dieser Eigenschaftsänderung und damit zum Auslesen des Sensorelements den elektrischen Widerstand des Sensorelements.

Es sind magnetoresistive Materialien und Schichtaufbauten bekannt, bei denen eine Veränderung der Magnetisierung eine relativ große und damit gut messbare Widerstandsänderung hervorruft. Besonders bevorzugt sind Schichtstapel, die den Giant Magneto Resistance (GMR) Effekt oder den Tunnel Magneto Resistance (TMR) Effekt aufweisen. Merkmal dieser Schichtstapel sind zwei magnetische Schichten bzw. Schichtstapel, von denen eine magnetisch weich und die andere magnetisch hart ist, und die durch eine unmagnetische Metallschicht (GMR-Effekt) oder eine Isolationsschicht (TMR-Effekt) voneinander getrennt sind. Die Magnetisierung der magnetisch weichen Schicht wird durch das äußere Magnetfeld geändert, während die Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht unverändert bleibt. Um die hartmagnetische Schicht magnetisch sehr hart zu machen, kann sie mit einer antiferromagnetischen Schicht oder einem künstlichen Antiferromagneten bzw. Ferrimagneten in Kontakt sein.

Beim GMR-Effekt und TMR-Effekt ist der elektrische Widerstand abhängig von den Magnetisierungsrichtungen der beiden magnetischen Schichten zueinander. Der Widerstand ist minimal, wenn die Magnetisierungen parallel sind, und maximal, wenn sie antiparallel sind. Ursache hierfür ist die

spinabhängige Streuung der Elektronen in diesen Materialien, weshalb solche Schichtstapel auch als Spinventile bezeichnet werden. Der hierdurch verursachte magnetoresistive Widerstand kann z.B. 10% bei typischen GMR-Systemen und 40% bei typischen TMR-Systemen erreichen.

Bevorzugte erfindungsgemäße Lösungen verwenden als magnetische Struktur ein Spinventil basierend auf dem GMR-Effekt oder TMR-Effekt. Hierdurch wird die durch die Umdrehung des äußeren Magnetfeldes im Sensorelement hervorgerufene Magnetisierungsänderung, z.B. eine 360°-Wand, in eine gut messbare Widerstandsänderung umgesetzt.

Dieser elektrische Widerstand kann durch eine entsprechende elektrische Schaltung direkt oder indirekt ermittelt werden. Der ermittelte Widerstand oder eine davon abgeleitete Größe entspricht dann der Anzahl an Umdrehungen, um die z.B. die Lenkwelle gedreht worden ist. Sofern für die Ermittlung des elektrischen Widerstands oder der daraus abgeleiteten Größe eine Energieversorgung erforderlich ist, so kann die Anzahl an Umdrehungen - wie bereits erwähnt wurde - während eines Energieausfalles nicht ermittelt werden. Nach dem Energieausfall ergibt die Ermittlung des elektrischen Widerstands oder der daraus abgeleiteten Größe jedoch sofort wieder ohne jegliche zusätzliche Maßnahmen die korrekte und aktuelle Anzahl an Umdrehungen.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist das Sensorelement einen Wandgenerator und einen Wandspeicher auf. Der Wandgenerator ist dabei für die Erzeugung von Domänenwänden, insbesondere von 360°-Wänden, und der Wandspeicher für die Speicherung der erzeugten Wände zuständig.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Wandgenerator derart ausgebildet ist, dass die Magnetisierungsrichtung in dem

Wandgenerator leicht einem sich bewegenden, äußeren Magnetfeld folgen kann. Vorzugsweise ist der Wandgenerator kreisförmig ausgebildet. Weiterhin ist es besonders vorteilhaft, wenn der Wandspeicher derart ausgebildet ist, dass die Magnetisierungsrichtung in dem Wandspeicher durch ein sich bewegendes, äußeres Magnetfeld kaum gedreht werden kann. Vorzugsweise ist der Wandgenerator länglich ausgebildet.

Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung verjüngt sich der Wandspeicher keilförmig vom Wandgenerator weg. Dies ermöglicht eine Energieminimierung aufgrund der Verkürzung der Wandlänge, so dass die sich aktuell bildende 360°-Wand zur Spitze des Wandspeichers hin bewegt wird.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist ein Wandspeicher eine Verengung auf, in der sich mindestens eine Wand lokalisieren kann. Die Lokalisierung erfolgt aufgrund der Verkürzung der Wandlänge und dem damit erreichten Energiegewinn. Alternativ kann diese Verengung auch so schmal sein, dass sich die Domänenwand vor der Verengung lokalisiert, d.h. die Magnetisierung dreht sich nicht innerhalb der Verengung. Hilfreich hierfür ist die oben erwähnte Keilform des Wandgenerators.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass für jede zu zählende Umdrehung genau eine geeignet dimensionierte Verengung im Wandspeicher vorgesehen ist, in die sich genau eine Domänenwand lokalisiert. Diese Verengungen sind so gestaltet, dass sich aktuell bildende Domänenwände hindurchbewegen können, sofern diese Verengung nicht mit einer Wand besetzt ist.

Anstelle der Verengung sieht eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung vor, dass der Wandspeicher mindestens eine gezielt eingebrachte, lokal begrenzte

Änderung der magnetischen Eigenschaften aufweist. Durch diese Änderungen wird erreicht, dass sich die Wände bevorzugt an den Stellen der Änderungen festsetzen.

Eine weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht die Kombination von Verengung/en und lokale/n Änderung/en zur Lokalisierung der Wand/Wände vor.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Wandspeicher zwei Kontakte auf. Über diese Kontakte kann die Anzahl der in dem Wandspeicher gespeicherten Wände insbesondere durch eine Messung des elektrischen Widerstands ermittelt werden.

Vorteilhaft ist es, wenn die Kontakte so angeordnet sind, dass sich alle im Wandspeicher maximal befindlichen bzw. lokalisierten Wände zwischen diesen Kontakten befinden, und zugleich die nicht mit Domänenwänden gefüllten Bereiche zwischen den Kontakten minimal sind. Damit wird gewährleistet, dass bei der Ermittlung der Anzahl der in dem Wandspeicher gespeicherten Wände auch tatsächlich alle dort vorhandenen Wände erfasst werden, und dass das Messsignal möglichst groß ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht die Kombination obiger Ausgestaltungen vor, so dass für jede zu zählende Umdrehung genau eine geeignet dimensionierte Verengung und/oder Änderung im Wandspeicher vorgesehen ist, in die sich genau eine Domänenwand lokalisiert, und dass seitlich von jeder Verengung und/oder Änderung mindestens ein Kontakt vorhanden ist, so dass jede Lokalisierungsposition einzeln ausgelesen werden kann. Diese Ausgestaltung ermöglicht ein hohes Messsignal und ein quasi digitales Speichern der gezählten Umdrehungen.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht

vor, dass der Wandspeicher vor dem äußeren Magnetfeld abgeschirmt ist, das im Wandgenerator die Magnetisierungsänderung hervorruft. Durch die Abschirmung wird erreicht, dass sich die Wände im Wandspeicher nur aufgrund der geometrischen Form und der magnetischen Eigenschaften des Wandspeichers, sowie dem Einfluss der Magnetisierung im Wandgenerator bewegen können.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sehen vor, dass diese Abschirmung durch mindestens eine magnetische Schicht über dem Wandgenerator realisiert ist.

Alternative Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Lösung speichern anstelle der Domänenwände, insbesondere anstelle der 360°-Wände, verschiedene Magnetisierungsanordnungen, z.B. verschieden große ummagnetisierte Flächen, denen dann eindeutig Umdrehungen zugeordnet werden können.

Zur Ermittlung der Anzahl der Umdrehungen ist es besonders vorteilhaft, wenn die elektrische Schaltung eine Wheatstone'sche Brücke mit vier Sensorelementen aufweist. Auf diese Weise wird mit wenig Aufwand eine hohe Genauigkeit erreicht.

Eine besonders bevorzugte Anwendung des erfindungsgemäßen Sensorelements oder des erfindungsgemäßen Umdrehungszählers besteht bei Kraftfahrzeugen.

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw.

Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung.

#### Ausführungsbeispiele der Erfindung

Figur 1 zeigt eine schematische Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel eines Umdrehungszählers mit drei erfindungsgemäßen Sensorelementen,

#### Figuren

2a und 2b zeigen schematische Querschnitte durch eines der Sensorelemente der Figur 1,

Figur 3 zeigt eine schematische Draufsicht auf das Sensorelement der Figur 2,

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung der Magnetisierung in einer sogenannten 360°-Wand des Sensorelements der Figur 2,

#### Figuren

5a und 5b zeigen schematische Blockschaltbilder von Ausführungsbeispielen einer elektrischen Schaltung für die Sensorelemente der Figur 1, und

#### Figuren

6 und 7 zeigen schematische Draufsichten auf alternative Ausführungsbeispiele der Sensorelemente der Figur 1.

In der Figur 1 ist ein Umdrehungszähler 10 dargestellt, der drei ortsfeste Sensorelemente 11 und einen Rotor 12 mit zwei daran benachbart zueinander angebrachten Permanentmagneten 13 aufweist. Der Rotor 12 ist um eine Achse 14 drehbar. Die Sensorelemente 11 sind in einem Winkel von beispielhaft etwa 120 Grad zueinander angeordnet. Die Sensorelemente 11 sind derart dem Rotor 12 zugeordnet, dass das magnetische Feld der

Permanentmagneten 13 bei einer Drehung des Rotors 12 an den Sensorelementen 11 vorbeibewegt wird und von jedem der Sensorelemente 11 erfasst wird.

Der Umdrehungszähler 10 ist zur berührungslosen Zählung von beispielsweise bis zu zehn Umdrehungen des Rotors 12 (bzw. fünf Umdrehungen in beiden Richtungen) durch die Sensorelemente 11 vorgesehen. Wie beschrieben werden wird, ist die Umdrehungszählung dabei ohne eine äußere Energieversorgung möglich.

Die drei Sensorelemente 11 sind gleichartig ausgebildet. Nachfolgend wird deshalb immer nur noch ein einziges der Sensorelemente 11 beschrieben.

Es versteht sich, dass bei dem Umdrehungszähler 10 der Figur 1 auch die Permanentmagnete 13 ortsfest angeordnet und die drei Sensorelemente 11 um die Achse 14 drehbar vorgesehen sein können, so dass auch in diesem Fall das magnetische Feld der Permanentmagnete 13 an den Sensorelementen 11 vorbeibewegt wird.

Die Zählung der Umdrehungen durch das Sensorelement 11 erfolgt durch Ausnutzung des Giant Magneto Resistance (GMR) Effekts oder des Tunnel Magneto Resistance (TMR) Effekts. Alternativ ist es ebenfalls möglich, mit Hilfe von magneto-optischen und/oder magneto-striktiven Verfahren die Anzahl der von dem Sensorelement 11 gezählten Umdrehungen zu ermitteln.

Figur 2a zeigt einen erfindungsgemäßen Schichtaufbau 20 des Sensorelements 11, der zum Auslesen der gezählten Umdrehungen den GMR Effekt verwendet. Eine weichmagnetische Schicht 21 wird durch eine dünne unmagnetische Metallschicht 22 von einer hartmagnetischen Schicht 23 getrennt. Eine antiferromagnetische Schicht 24 auf der hartmagnetischen

Schicht 23 dient dazu, die letztere magnetisch noch härter zu machen. Dies bedeutet, dass die Magnetisierung in der hartmagnetischen Schicht 23 im Gegensatz zur Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht 21 nicht durch das Magnetfeld des Permanentmagneten 13 geändert werden kann. Auf der Schicht 24 befindet sich eine Kontaktierungsschicht 25, auf der zwei Kontakte 26 angebracht sind. Der Messstrom fließt zwischen den beiden Kontakten 26 horizontal und vertikal durch den gesamten Schichtaufbau 20, also durch die Schichten 21, 22, 23, 24 und 25.

Figur 2b zeigt einen erfindungsgemäßen Schichtaufbau 20' des Sensorelements 11, der zum Auslesen der gezählten Umdrehungen den TMR Effekt verwendet. Es ergeben sich folgende Änderungen gegenüber der Figur 2a. Die unmagnetische Metallschicht 22 wird durch eine Isolationsschicht 22' ersetzt, die eine Tunnelbarriere darstellt. Einer der beiden Kontakte 26 wird durch einen Kontakt 26' ersetzt. Dieser Kontakt 26' befindet sich entweder direkt auf der weichmagnetischen Schicht 21 (nicht gezeigt) oder vorzugsweise auf einer Kontaktschicht 25' auf der weichmagnetischen Schicht 21. D.h. zum Aufbringen des Kontaktes 26' muss der Schichtstapel 20' lokal bis zur weichmagnetischen Schicht 21 abgeätzt werden. Dies erfolgt vorzugsweise in einem seitlichen Bereich. Der Messstrom fließt beispielsweise über den Kontakt 26 vertikal durch die Schichten 25, 24 (antiferromagnetische Schicht), 23 (hartmagnetische Schicht), 22' (Tunnelbarriere), zur weichmagnetischen Schicht 21, um anschließend horizontal zur Kontaktschicht 25' sowie zum Kontakt 26' zu fließen.

Wie noch erläutert werden wird, können die Kontakte 26, 26' in einer Isolationsschicht 27 enthalten sein, die von einer Abdeckschicht 28 abgedeckt ist.

Der gesamte Schichtaufbau 20, 20' kann z.B. auf einem (oxidierten) Siliziumsubstrat aufgebracht werden. Ein



derartiger Schichtaufbau 20, 20' wird auch als Spinventil bezeichnet.

In der Figur 3 ist eine erfindungsgemäße geometrische Ausgestaltung des Sensorelements 11 in einer Draufsicht dargestellt. Das Sensorelement 11 besitzt eine längliche, uhrzeigerförmige Gestalt 30 und ist spiegelsymmetrisch zu einer (nicht dargestellten) Längsachse ausgebildet.

Im linken Bereich der Figur 3 weist das Sensorelement 11 einen Wandgenerator 31 auf. Dieser ist in der Figur 3 kreisförmig ausgebildet, könnte aber auch achteckig oder ganz allgemein vieleckig ausgestaltet sein. Im Bereich des Wandgenerators 31 ist die Abdeckschicht 28 nicht vorhanden.

Durch die Gestalt und Größe des Wandgenerators 31 kann seine Magnetisierungsrichtung leicht einem sich bewegenden, äußeren Magnetfeld des Permanentmagneten 13 folgen. Dies wird bei dem Wandgenerator 31 der Figur 3 insbesondere durch seine kreisförmige Ausbildung erreicht.

An den Wandgenerator 31 schließt sich mit einem abgerundeten Übergang ein Wandspeicher 32 an, der lang und schmal ausgebildet ist. Durch diese Gestalt des Wandspeichers 32 und der daraus folgenden Formanisotropie dreht sich die Magnetisierung innerhalb des Wandspeichers 32 kaum durch das sich bewegend, äußere Magnetfeld des Permanentmagneten 13.

Im Bereich des Wandspeichers 32 ist die Abdeckschicht 28 vorhanden. Der Einfluss des Magnetfelds wird durch die Abdeckschicht 28 weiter vermindert. Dabei kann es sich um eine magnetische Abschirmungsschicht, z.B. aus Permalloy handeln.

Der Wandspeicher 32 weist eine Verengung 33 auf, die sich etwa mittig zwischen den Kontakten 26 befindet. Der vordere

Teil 34 des Wandspeichers 32 verjüngt sich bis zur Verengung 33 keilförmig. Hinter der Verengung 33 befindet sich eine schmale Spitze 35 des Wandspeichers. Die Spitze 35 ist so ausgestaltet, dass sich ihre Magnetisierung, z.B. aufgrund der Formanisotropie, nicht ändert. Aufgrund dieser Form des Wandspeichers 32 lokalisieren sich Domänenwände innerhalb der Verengung 33 zwischen den Kontakten 26. Dies ist in der Figur 3 durch vier sogenannte 360°-Wände 40 dargestellt.

Anstelle der Verengung 33 ist es möglich, eine oder mehrere gezielt eingebrachte, lokal begrenzte Änderungen der magnetischen Eigenschaften des Wandspeichers 32 vorzusehen, um auf diese Weise eine Lokalisierung der Wände 40 zu erreichen. Hierzu können insbesondere die magnetischen Eigenschaften der weichmagnetischen Schicht lokal so geändert werden, dass sich die Wände 40 bevorzugt an diesen Stellen festsetzen. Die Änderungen der magnetischen Eigenschaften können z.B. Löcher, gezielte lokale Dotierungen oder Manipulationen einzelner Kristallite oder Korngrenzen z.B. durch lokales Aufheizen mit einem Laserstrahl in zumindest einer Schicht des Schichtaufbaus 20 sein.

Bevorzugte Ausbildungen sehen auf und/oder unter und/oder neben der weichmagnetischen Schicht bzw. des Schichtaufbaus 20 mindestens eine lokal begrenzte hartmagnetische Schicht vor, z.B. als schmaler Streifen quer über dem Wandspeicher 32. Die Lokalisierung der Wand/Wände 40 beruht auf der lokal begrenzten Wechselwirkung dieser hartmagnetischen Schicht mit der weichmagnetischen Schicht des Wandspeichers.

Derartige 360°-Wände 40 werden durch die gegensinnige Anordnung der Permanentmagnete 13 am Rotor 12 erreicht. Werden diese Permanentmagneten 13 z.B. im Uhrzeigersinn an dem Sensorelement 11 vorbeibewegt, so erzeugt der erste Magnet eine 180°-Wand in der weichmagnetischen Schicht 21, die durch die Form des Sensorelements 11 in den Wandspeicher

32 und dort in die Verengung 33 transportiert wird. Der zweite Magnet erzeugt eine zweite, entgegengesetzte  $180^\circ$ -Wand mit gleichem Drehsinn in der weichmagnetischen Schicht 21, die ebenfalls in die Verengung 33 transportiert wird. Da diese zwei  $180^\circ$ -Wände räumlich eng nebeneinander liegen, bilden sie eine der  $360^\circ$ -Wände 40.

Eine derartige Drehung der Magnetisierungsrichtung um  $360^\circ$  ist in der Figur 4 schematisch dargestellt. Die dort gezeigten Pfeile geben die Magnetisierungsrichtungen in dem betreffenden Teil der  $360^\circ$ -Wand 40 wieder. Die Breite der  $360^\circ$ -Wand 40 beträgt nur wenige 10 nm - 100 nm, d.h. nur einige Dutzend bis 100 Kristallite. Die Länge hängt ab von der Breite des Wandspeichers 32.

Durch die Keilform kann die  $360^\circ$ -Wand 40 ihre Länge verkürzen und damit ihre Energie minimieren. Deswegen transportiert die Keilform des vorderen Teils 34 des Wandspeichers 32 die  $360^\circ$ -Wände 40 in die Verengung 33. So ist es für die  $360^\circ$ -Wände 40 energetisch ein Optimum, sich innerhalb der Verengung 33 zu lokalisieren. Umgekehrt ist es für die  $360^\circ$ -Wände 40 kein Optimum, sich im Wandgenerator 31 zu befinden.

Jede der  $360^\circ$ -Wände 40 läuft somit automatisch von dem Wandgenerator 31 über den keilförmigen Teil 34 zu dem Wandspeicher 32 und bleibt dort etwa in der Verengung 33 stehen. Dies erfolgt aufgrund der jeweiligen Energiezustände, die die  $360^\circ$ -Wand 40 durchläuft. Dabei besitzt die  $360^\circ$ -Wand 40 im Bereich des Wandgenerators 31 eine größere Energie als in dem Bereich des Wandspeichers 32. Im Bereich der Verengung 33 besitzt die  $360^\circ$ -Wand 40 die geringste Energie.

Die Spitze 35 ist ein Hindernis für die  $360^\circ$ -Wände 40. Sie bewirkt, dass die  $360^\circ$ -Wände 40 nicht nach vorne durchlaufen und dort vernichtet werden können. Insgesamt bewegen sich die  $360^\circ$ -Wände 40 deshalb - wie erwähnt - vom Wandgenerator 31 in

die Verengung 33 des Wandspeichers 32 und verharren dort.

Nachdem die Permanentmagnete 13 an dem Sensorelement 11 vorbeibewegt worden sind, hat somit eine bleibende Veränderung der Magnetisierung des Sensorelements 11 stattgefunden, und zwar im Bereich der Verengung 33 des Wandspeichers 32. Dies stellt eine Eigenschaftsänderung des Sensorelements und damit eine Speicherung der Veränderung der Magnetisierung in dem Sensorelement 11 dar.

In der Figur 3 sind in der Verengung 33 des Wandspeichers 32 insgesamt vier derartige 360°-Wände 40 beispielhaft eingezeichnet. Diese vier 360°-Wände ergeben sich dabei beispielsweise aus vier aufeinanderfolgenden Umdrehungen des Rotors 12 im Uhrzeigersinn.

Jede der in der Figur 3 in der Verengung 33 des Wandspeichers 32 lokalisierten 360°-Wände 40 hat eine Änderung des elektrischen Widerstandes zur Folge, der zwischen den Kontakten 26 der Figur 3 messbar ist. Je mehr 360°-Wände 40 in der Verengung 33 vorhanden ist, desto größer wird die Widerstandsänderung, wobei jede 360°-Wand 40 den Widerstand in etwa um den gleichen Betrag ändert.

Die Widerstandsänderung aufgrund einer Ummagnetisierung, insbesondere durch eine 360°-Wand 40 in der Verengung 33, ist charakteristisch für ein Spinventil mit GMR- oder TMR-Effekt und beruht allein auf der Anordnung der Magnetisierungsrichtungen im Spinventil. Die Änderungen der Magnetisierung in der weichmagnetischen Schicht 21 des Spinventils erfordern keinerlei Energieversorgung. Erforderlich ist lediglich das hinreichend große Magnetfeld der vorbei bewegten Permanentmagnete 13.

Nur das Messen des Widerstands und damit das Auslesen der gezählten Umdrehungen benötigt für den Zeitraum der

Widerstandsmessung eine Energieversorgung, indem z.B. die Kontakte 26 mit einer Spannung beaufschlagt werden. Damit kann direkt oder indirekt der elektrische Widerstand zwischen den Kontakten 26 ermittelt werden. Aufgrund des GMR- bzw. TMR-Effekts ist die durch die 360°-Wand 40 verursachte Widerstandsänderung hinreichend groß, so dass jede einzelne Umdrehung des Rotors 12 registriert werden kann. Aus dem elektrischen Widerstand kann dann auf die Anzahl der 360°-Wände 40 in der Verengung 33 geschlossen werden. Die Anzahl der Wände korrespondiert schließlich zu der Anzahl der Umdrehungen des Rotors 12 im Uhrzeigersinn.

Dreht sich der Rotor 12 im Gegenuhrzeigersinn, so wird eine Wand 40' (nicht dargestellt) erzeugt, deren Magnetisierung im Vergleich zur Wand 40 entgegengesetzt rotiert. Diese Wand 40' wird genauso wie die Wand 40 in die Verengung 33 des Wandspeichers 32 transportiert. Dort trifft die Wand 40' auf die vorhandene Wand 40. Der umgekehrte Drehsinn der jeweiligen Wände 40 und 40' hat die gegenseitige Auslöschung der Wände 40 und 40' zur Folge. Damit ist die Drehung des Rotors 12 in der Gegenrichtung auch in der Anzahl der vorhandenen Wände 40 in der Verengung 33 berücksichtigt. Der elektrische Widerstand zwischen den Kontakten 26 ist damit entsprechend geändert, so dass die Drehung des Rotors 12 in der Gegenrichtung gemessen und erfasst werden kann.

Ist in der Verengung 33 des Wandspeichers 32 keine Wand 40 vorhanden, und wird durch eine Drehung des Rotors 12 im Gegenuhrzeigersinn eine Wand 40' erzeugt, so wird diese Wand 40' - wie schon im Zusammenhang mit den Wänden 40 bereits erläutert wurde - in dem Wandspeicher 32 gespeichert. Damit ist die erfolgte Umdrehung im Gegenuhrzeigersinn wieder über den elektrischen Widerstand messbar. Eine Drehung im Uhrzeigersinn führt dann wieder zur Auslöschung der Wand 40', wie dies entsprechend bereits beschrieben wurde.

In der Figur 5a ist eine elektrische Schaltung 50 dargestellt, bei der eine elektrische Leiterbahn 51 über das Sensorelement 11 gelegt ist, durch die ein Strom I fließen kann. Dieser Strom I ist derart gewählt, dass das von ihm erzeugte Magnetfeld das unter der Leitung 51 angeordnete Sensorelement 11 daran hindert, 360<sup>0</sup>-Wände 40 aufzubauen. Der Rotor 12 mit den Permanentmagneten 13 kann nunmehr um eine beliebige Anzahl von Umdrehungen gedreht werden, ohne dass dies zu einer Zählung in dem Sensorelement 11 und damit in dem Umdrehungszähler 10 führt. Dieses Vorgehen kann insbesondere bei oder nach der Herstellung des Sensorelements 11 oder des Umdrehungszählers 10 oder bei einer Initialisierung nach dem Einbau des Umdrehungszählers 10 angewendet werden.

In der Figur 5b ist eine elektrische Schaltung 55 dargestellt, bei der zwei elektrische Leiterbahnen 56, 57 unter einem Winkel von etwa 90 Grad über das Sensorelement 11 gelegt sind. Durch die beiden Leiterbahnen 56, 57 können Ströme fließen, die zusammen ein sich drehendes Magnetfeld erzeugen. Damit ist es möglich, mit Hilfe der vorgenannten Ströme 360<sup>0</sup>-Wände 40 in dem Sensorelement 11 zu erzeugen, ohne dass hierzu eine Drehung des Rotors 12 mit den Permanentmagneten 13 erforderlich ist. Auch diese Schaltung kann insbesondere nach dem Einbau des Umdrehungszählers 10 zu dessen Einstellung auf einen erwünschten Zählerstand verwendet werden.

In der Figur 6 ist ein Sensorelement 60 gezeigt, das eine alternative Ausführungsform des Sensorelements 11 der Figur 3 darstellt. Bei dem Sensorelement 60 der Figur 6 ist eine Spitze 61 vorhanden, die als länglicher, dünner Streifen ausgebildet ist. Damit wird die Möglichkeit vermindert, dass eine 360<sup>0</sup>-Wand 40 im Bereich dieser Spitze 61 verloren geht.

Weiterhin ist bei dem Sensorelement 60 der Figur 6 eine

streifenförmige Lücke 62 zwischen dem Wandgenerator 31 und dem Wandspeicher 32 vorhanden. Diese Lücke 62 kann durch das von dem Wandgenerator 31 erzeugte, magnetische Streufeld überbrückt werden, so dass in gleicher Weise  $360^{\circ}$ -Wände 40 in dem Wandspeicher 32 entstehen, wie dies bereits beschrieben wurde.

In der Figur 7 ist ein Sensorelement 70 gezeigt, das eine Erweiterung des Sensorelements 11 der Figur 3 darstellt. Das Sensorelement 70 der Figur 7 weist einen einzigen Wandgenerator 71 auf, der dem Wandgenerator 31 der Figur 3 entspricht. Diesem Wandgenerator 71 der Figur 7 sind jedoch drei Wandspeicher 72, 73, 74 zugeordnet. Diese sind beispielhaft in einem Winkel von jeweils etwa 120 Grad zueinander angeordnet. Die Wandspeicher 72, 73, 74 der Figur 7 entsprechen dem Wandspeicher 32 der Figur 3 und sind gleichartig ausgebildet.

Bei einer Drehung der Permanentmagnete 13 werden nacheinander  $360^{\circ}$ -Wände 40 in die drei Wandspeicher 72, 73, 74 eingespeichert. Nach jeder Umdrehung des Rotors 12 mit den Permanentmagneten 13 weisen somit alle drei Wandspeicher 72, 73, 74 denselben Zählerstand auf. Diese Redundanz kann zur Erkennung eines fehlerhaften Wandspeichers 72, 73, 74 verwendet werden. So kann immer derjenige Zählerstand als korrekt erkannt werden, der von zumindest zwei der drei Wandspeicher 72, 73, 74 angezeigt wird.

In der Figur 1 sind drei Sensorelemente 11 dargestellt, an denen die Permanentmagnete 13 vorbeibewegt werden. Damit ist es möglich, immer genau dasjenige der drei Sensorelemente 11 von einer Auswertung auszuschließen, an dem die Permanentmagnete 13 sich gerade vorbeibewegen. Auf diese Weise wird erreicht, dass von demjenigen Sensorelement 11, an dem sich die Permanentmagnete 13 gerade vorbeibewegen, keine fehlerhafte Zählung ausgelesen werden kann. Anders

ausgedrückt wird gewährleistet, dass eine Auswertung der drei Sensorelemente 11 immer nur dann durchgeführt wird, wenn keine Störung des jeweiligen Sensorelements 11 aufgrund der sich vorbeibewegenden Permanentmagnete 13 vorhanden sein kann.

Die jeweiligen Winkelbereiche, in denen die einzelnen Sensorelemente 11 ausgeblendet werden müssen, können vorab festgelegt werden. Im Betrieb des Umdrehungszählers 10 können diese Winkelbereiche von einem Winkelsensor gemessen und damit berücksichtigt werden. Ein derartiger Winkelsensor ist beispielsweise im Zusammenhang mit der Lenkwelle eines Kraftfahrzeugs üblicherweise vorhanden.

Während eines der drei Sensorelemente 11 ausgeblendet ist, kann die jeweils aktuelle Umdrehungszahl mit Hilfe der beiden anderen Sensorelemente 11 ermittelt werden. Dabei kann ein fehlerhaftes Sensorelement 11 mit Hilfe eines Vergleichs der ermittelten Umdrehungszahlen aller drei Sensorelemente 11 erkannt werden.

Anstelle der in den Figuren 1 bis 7 gezeigten, einzelnen Sensorelemente 11, 60, 70 können auch Zusammenschaltungen von mehreren derartiger Sensorelemente verwendet werden. So ist es möglich, vier Sensorelemente 11, 60, 70 in einer Wheatstone'schen Brücke zu verschalten. Der Umdrehungszähler 10 der Figur 1 würde dann drei derartige Wheatstone'sche Brücken mit jeweils vier Sensorelementen aufweisen.

Damit Umdrehungen in beide Richtungen gezählt werden können, und damit eine eindeutige Unterscheidung zwischen Umdrehungen rechts herum und links herum getroffen werden kann, ist es vorteilhaft, die Wheatstone'sche Brücke gezielt zu verstimmen. Für diese Verstimmung der Wheatstone'schen Brücke gibt es die folgenden bevorzugten Ausgestaltungen.



In den vier Sensorelementen der Wheatstone'schen Brücke können maximal  $2n$  Umdrehungen gezählt werden. Als Startkonfiguration sind in jedem Sensorelement  $n$  Umdrehungen gespeichert, wobei der Drehsinn für je zwei diagonal gegenüberliegende Sensorelemente links herum ist und für die anderen beiden diagonal gegenüberliegenden Sensorelemente rechts herum ist. Da die magnetoresistiven Zusatzwiderstände der gespeicherten  $360^\circ$ -Wände weitgehend gleich und unabhängig vom Drehsinn der Wand sind, ist die Brücke in diesem Zustand abgeglichen. Die durch das äußere Magnetfeld hervorgerufene Magnetisierungsänderung erfolgt in jedem Sensorelement in gleichem Drehsinn. Das Hinzufügen einer  $360^\circ$ -Wand ändert den elektrischen Widerstand in allen Sensorelementen gleich. Die Verstimmung der Brücke erfolgt nun dadurch, dass in zwei diagonal gegenüber liegenden Sensorelementen je eine  $360^\circ$ -Wand pro Umdrehung hinzugefügt und in den anderen zwei Sensorelementen je eine  $360^\circ$ -Wand entfernt wird. Die Entfernung einer Wand erfolgt durch das Zusammentreffen von zwei Wänden mit unterschiedlichem Drehsinn, wodurch diese sich auslöschen. Nach einer Umdrehung rechts herum wird in zwei diagonal gegenüberliegenden Sensorelementen  $n+1$   $360^\circ$ -Wände mit Drehsinn rechts herum und in den anderen zwei Sensorelementen  $n-1$   $360^\circ$ -Wände mit Drehsinn links herum gespeichert sein. Die Brücke ist somit um den Widerstandsunterschied von zwei  $360^\circ$ -Wänden verstimmt worden. Bei einer Umdrehung links herum ist der Widerstandsunterschied identisch, aber die Potentialdifferenz in der verstimmten Brücke hat ein anderes Vorzeichen, da das Hinzufügen und Entfernen genau umgekehrt erfolgt. D.h. links und rechts herum gezählte Umdrehungen sind eindeutig unterscheidbar. Die maximal zählbare Anzahl an Umdrehungen ist  $n$ , wobei in zwei diagonal gegenüberliegenden Sensorelementen die Anzahl gespeicherter  $360^\circ$ -Wände von  $n$  auf  $2n$  hoch gezählt und in den anderen zwei Sensorelementen von  $n$  auf 0 runtergezählt wird.

In einer anderen erfindungsgemäßen Ausgestaltung können in den vier Sensorelementen der Brücke maximal  $2n$  Umdrehungen gezählt werden. Als Startkonfiguration sind in jedem Sensorelement  $n$  Umdrehungen mit gleichen Drehsinn gespeichert. Die durch das äußere Magnetfeld hervorgerufene Magnetisierungsänderung erfolgt für je zwei diagonal gegenüberliegende Sensorelemente mit Drehsinn rechts herum und für die anderen beiden diagonal gegenüberliegenden Sensorelemente mit Drehsinn links herum. Das Hinzufügen einer  $360^\circ$ -Wand ändert den elektrischen Widerstand in allen Sensorelementen gleich. Hierdurch wird pro Umdrehung in zwei diagonal gegenüberliegenden Sensorelementen je eine  $360^\circ$ -Wand hinzugefügt und in den anderen beiden Sensorelementen je eine  $360^\circ$ -Wand entfernt.

In einer weiteren Ausgestaltung können in den Sensorelementen maximal  $n$  Umdrehungen gezählt werden. Als Startkonfiguration sind in jedem Sensorelement keine Umdrehungen gespeichert. In zwei diagonal gegenüber liegenden Sensorelementen erhöht die Zählung einer Umdrehung den elektrischen Widerstand in diesen Sensorelementen, während die Zählung einer Umdrehung den elektrischen Widerstand in den anderen diagonal gegenüber liegenden Sensorelementen erniedrigt. Hierzu ist es erforderlich die Ausrichtung der Magnetisierungen der beiden magnetischen Schichten bzw. Schichtstapel im GMR-System oder TMR-System für eine Halbbrücke parallel und für die andere Halbbrücke antiparallel einzustellen. Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass zum Speichern von maximal  $n$  Umdrehungen nur  $n$  statt  $2n$  Speicherplätze für  $360^\circ$ -Wände vorzusehen sind. Die relative Widerstandsänderung pro  $360^\circ$ -Wand und damit das Messsignal ist somit größer als bei den anderen beiden Ausgestaltungen.

Um die obigen Startkonfiguration einstellen zu können, sehen bevorzugte Ausgestaltungen eine oder mehrere elektrische Leiterbahnen über den Sensorelementen, insbesondere über den

Wandgeneratoren vor. Diese Leiterbahnen entsprechen letztlich den Leiterbahnen 51, 56, 57, die im Zusammenhang mit den Figuren 5a und 5b erläutert worden sind. Über diese Leiterbahnen können mit Hilfe von Strömen oder Stromimpulsen sich ggf. drehende Magnetfelder erzeugt werden, die als Umdrehung nur in dem jeweiligen Sensorelement gezählt werden, die also nicht die Magnetisierung in den benachbarten Sensorelementen der Wheatstone'schen Brücke verändern. Z.B. werden so die entsprechende Anzahl an 360°-Wänden der Startkonfiguration in die Sensorelemente eingeschrieben, die Umdrehungen mittels der Anzahl von 360°-Wänden zählen. Besonders bevorzugte Ausgestaltungen sehen je zwei gekreuzte Leiterbahnen über den Wandgeneratoren vor, um das drehende Magnetfeld einfach zu erzeugen.

Diese vorteilhaften Ausgestaltungen erlauben es jederzeit, das erfindungsgemäße Sensorelement und damit den Umdrehungszähler in die Startkonfiguration zurückzusetzen, z.B. wenn er hohen Störfeldern ausgesetzt war.

Anstelle des in der Figur 1 gezeigten Umdrehungszählers 10 können das Sensorelement 11 oder dessen Abwandlungen 60, 70 oder Zusammenschaltungen davon auch bei linearen oder gekrümmten Weggebern zur Anwendung kommen, bei denen z.B. in äquidistanten Abständen ein oder mehrere Permanentmagnet/e vorhanden ist/sind. In diesem Falle wird beim Vorbeibewegen jeweils eine 360°-Wand im Sensorelement gespeichert, wobei die Anzahl der Wände die Position angibt.

**Patentansprüche**

1. Sensorelement (11) insbesondere für einen Umdrehungszähler (10), wobei ein magnetisches Feld an dem Sensorelement (11) vorbeibewegt werden kann (oder umgekehrt), und wobei das Sensorelement (11) einen Schichtaufbau (20) und eine Gestalt (30) aufweist, die ohne eine Energieversorgung dazu geeignet sind, in dem Sensorelement (11) eine Veränderung der Magnetisierung hervorzurufen, wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement (11) vorbeibewegt wird, sowie mehrere derartige Veränderungen zu speichern.
2. Sensorelement (11) nach Anspruch 1, wobei in dem Sensorelement (11) eine Domänenwand, insbesondere eine 360°-Wand (40) entsteht, wenn das magnetische Feld an dem Sensorelement (11) vorbeibewegt wird, und wobei mehrere Domänenwände, insbesondere 360°-Wände (40), in dem Sensorelement (11) speicherbar sind.
3. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Schichtaufbau (20) von unten oder von oben aufeinanderfolgend mindestens eine weichmagnetische Schicht (21), mindestens eine unmagnetische Metallschicht (22) oder mindestens eine Isolationsschicht (22') und mindestens eine hartmagnetische Schicht (23) aufweist.
4. Sensorelement nach Anspruch 3, wobei auf die oberste oder unterste hartmagnetische Schicht (23) entweder mindestens eine antiferromagnetische Schicht (24) folgt oder mindestens eine unmagnetische Metallschicht und mindestens eine hartmagnetische Schicht folgen, die zusammen mit der hartmagnetischen Schicht (23) einen künstlichen Antiferromagneten bilden, oder vorzugsweise

mindestens eine unmagnetische Metallschicht und mindestens eine hartmagnetische Schicht, die zusammen mit der hartmagnetischen Schicht (23) einen künstlichen Antiferromagneten bilden, und mindestens eine antiferromagnetische Schicht (24) folgen.

5. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Sensorelement (11) mindestens einen als Wandgenerator (31) bezeichneten ersten Bereich und mindestens einen als Wandspeicher (32) bezeichneten zweiten Bereich aufweist.
6. Sensorelement (11) nach Anspruch 5, wobei der Wandgenerator (31) derart ausgebildet ist, dass die Magnetisierung in dem Wandgenerator (31) leicht dem sich bewegendem, magnetischen Feld folgen kann.
7. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei der Wandgenerator (31) im wesentlichen kreisförmig ausgebildet ist.
8. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei der Wandspeicher (32) derart ausgebildet ist, dass die Magnetisierung in dem Wandspeicher (32) durch das sich bewegendem, magnetische Feld im wesentlichen nicht verändert wird.
9. Sensorelement (11) nach Anspruch 8, wobei der Wandspeicher (32) länglich ausgebildet, insbesondere keilförmig ist.
10. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei der Wandspeicher (32) mindestens eine Verengung (33), insbesondere eine Verengung (33) pro zu zählender Umdrehung, aufweist.

11. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 8 oder 9 oder nach Anspruch 10, wobei der Wandspeicher (32) mindestens eine gezielt eingebrachte, lokal begrenzte Änderung der magnetischen Eigenschaften insbesondere pro zu zählender Umdrehung aufweist.
12. Sensorelement (11) nach Anspruch 11, wobei mindestens eine lokal begrenzte hartmagnetische Schicht vorgesehen ist, um eine lokal begrenzte Änderung der magnetischen Eigenschaften des Wandspeichers (32) hervorzurufen.
13. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei der Wandspeicher (32) mindestens zwei Kontakte (26, 26') aufweist.
14. Sensorelement (11) nach Anspruch 10 oder 11, wobei der Wandspeicher (32) zwei Kontakte (26, 26') pro Verengung (33) und/oder pro lokal begrenzter Änderung aufweist.
15. Sensorelement (11) nach Anspruch 13 und einem der Ansprüche 10 und/oder 11, wobei die Verengung (33) und/oder die Änderung sich etwa mittig zwischen den Kontakten (26, 26') befindet.
16. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 5 bis 15, wobei der Wandgenerator (31) mittels eines keilförmigen Teils (34) in den Wandspeicher (32) übergeht.
17. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 5 bis 16, wobei der Wandspeicher (32) mit einer Spitze (35), insbesondere einer als länglicher Streifen ausgebildeten Spitze (61), versehen ist.
18. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 5 bis 17, wobei der Wandspeicher (32) mit einer Abdeckschicht (28), insbesondere mit einer magnetischen

Abschirmschicht, insbesondere einer Permalloyschicht, abgedeckt ist.

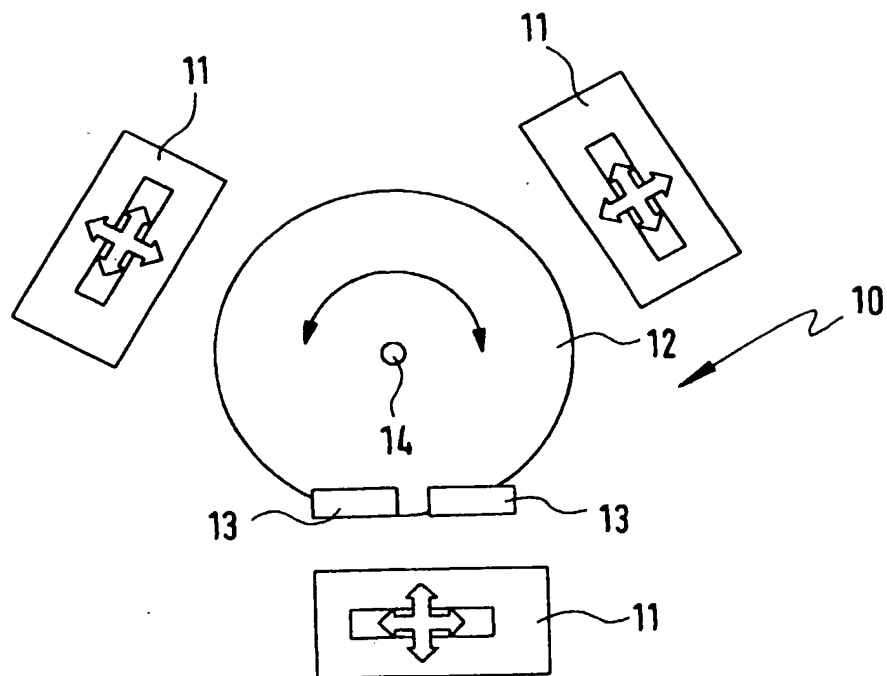
19. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 5 bis 18, wobei mehrere Wandspeicher (72, 73, 74) einem einzelnen Wandgenerator (71) zugeordnet sind.
20. Sensorelement (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei zumindest eine elektrische Leiterbahn (51; 56, 57) über das Sensorelement (11) gelegt ist.
21. Sensorelement (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Anzahl der gespeicherten Veränderungen der Magnetisierung mittels des Giant Magneto Resistance (GMR) Effekts und/oder des Tunnel Magneto Resistance (TMR) Effekts und/oder eines magneto-optischen Verfahrens und/oder eines magneto-striktiven Verfahrens ermittelbar ist.
22. Sensorelement (11) nach Anspruch 21 und einem der Ansprüche 13, 14 oder 15, wobei der elektrische Widerstand zwischen den Kontakten (26, 26') sich in Abhängigkeit von der Anzahl der gespeicherten Veränderungen der Magnetisierung ändert.
23. Wheatstone'sche Brücke gekennzeichnet durch die Verwendung von vier Sensorelementen (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 22.
24. Umdrehungszähler (10) gekennzeichnet durch die Verwendung eines Sensorelements nach einem der Ansprüche 1 bis 22 oder einer Wheatstone'schen Brücke nach Anspruch 23.
25. Umdrehungszähler (10) nach Anspruch 24, wobei das magnetische Feld von einem, insbesondere von zwei

Permanentmagneten (13) erzeugbar ist.

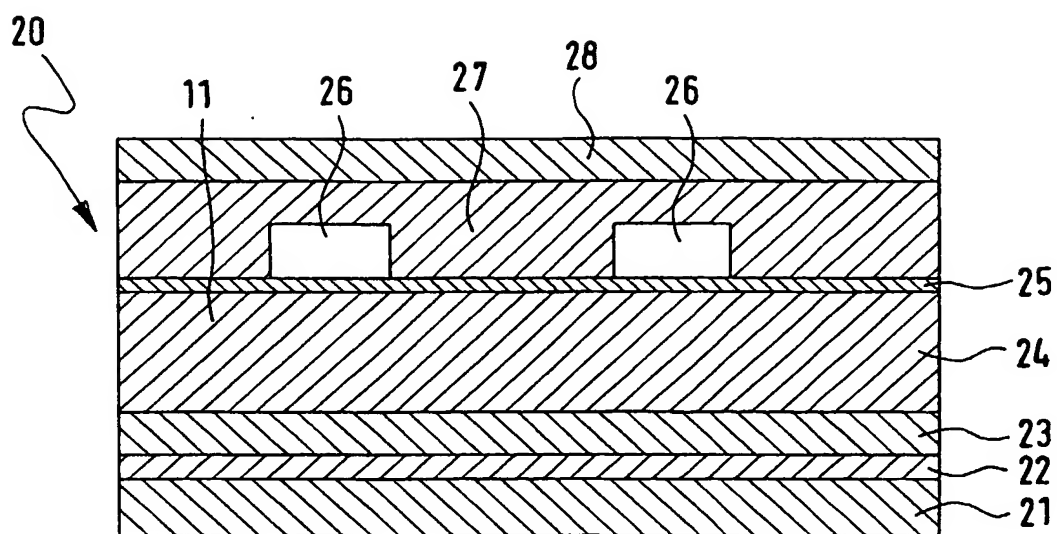
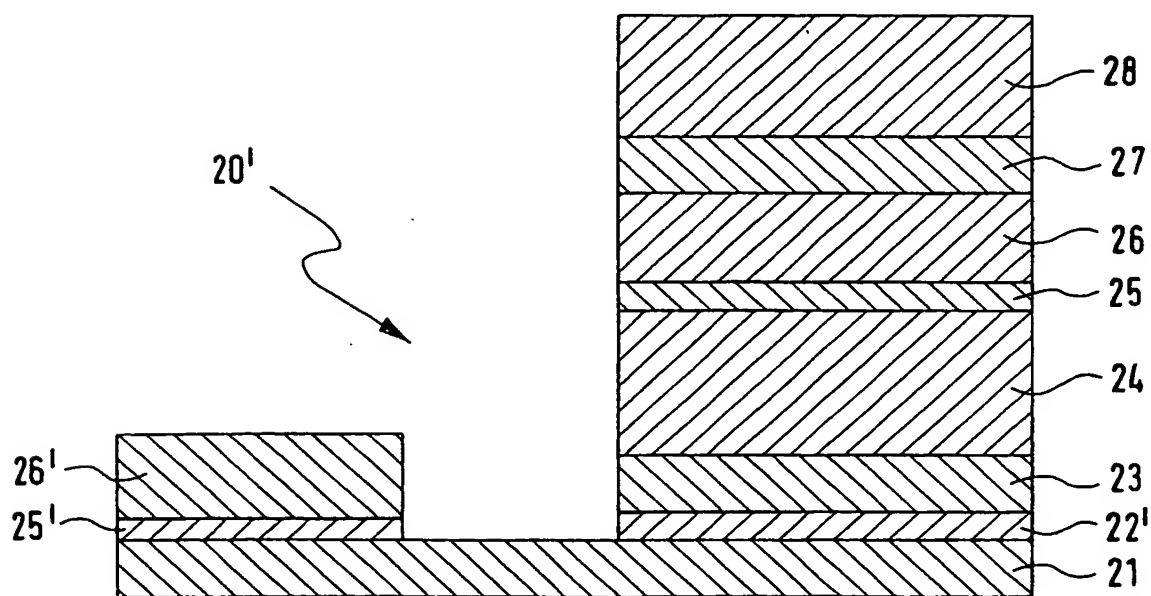
26. Umdrehungszähler (10) nach einem der Ansprüche 24 oder 25, wobei mehrere Sensorelemente (11) vorgesehen sind, die in etwa gleichen Winkelabständen zueinander angeordnet sind, und an denen das magnetische Feld vorbei bewegbar ist.
27. Umdrehungszähler (10) nach einem der Ansprüche 24 bis 26, gekennzeichnet durch dessen Verwendung in einem Kraftfahrzeug, wobei das magnetische Feld insbesondere mit einer Lenkwelle des Kraftfahrzeugs gekoppelt ist.



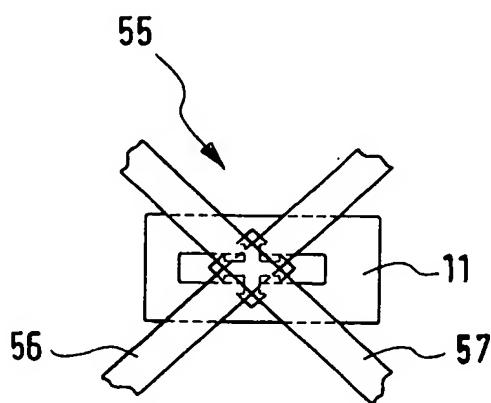
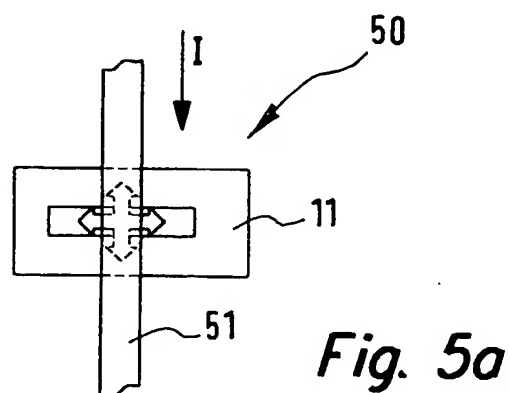
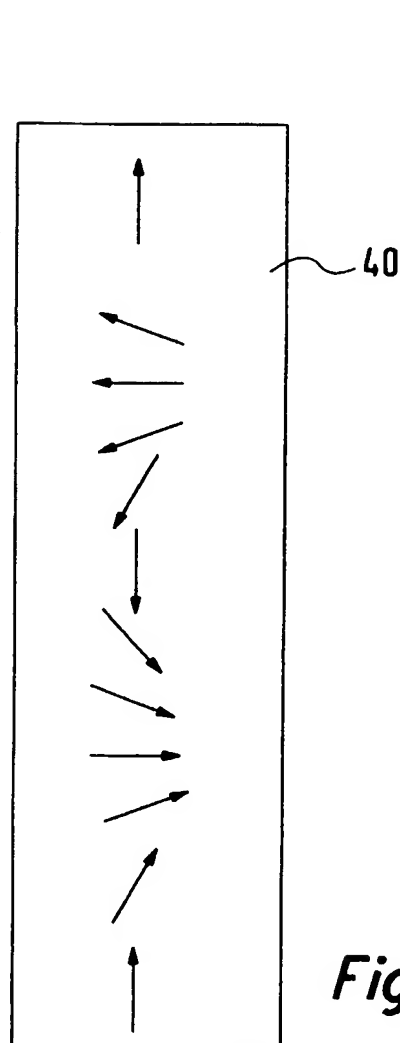
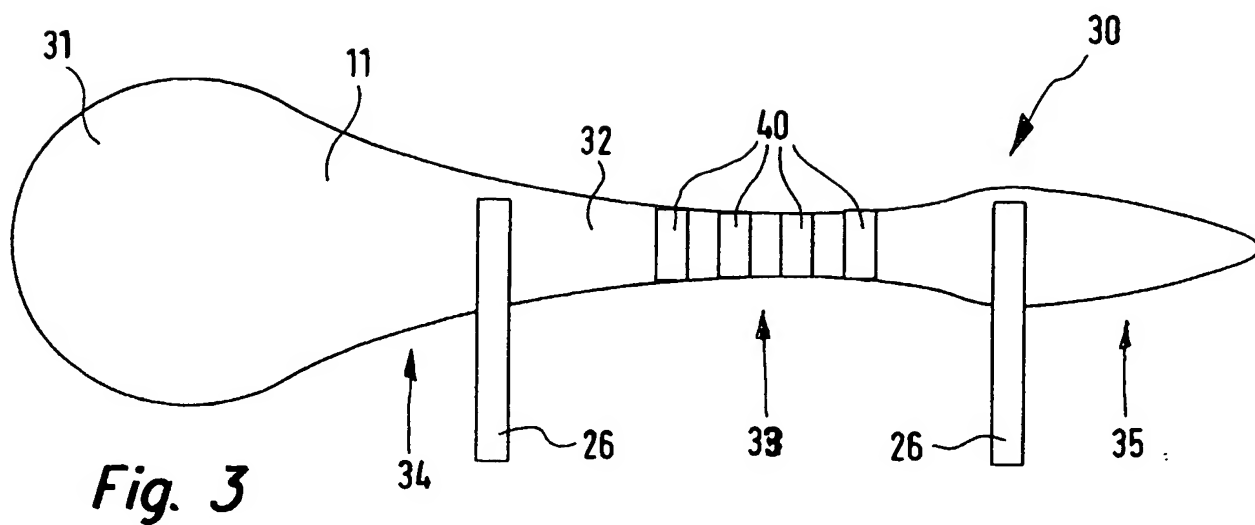
1 / 4

*Fig. 1*

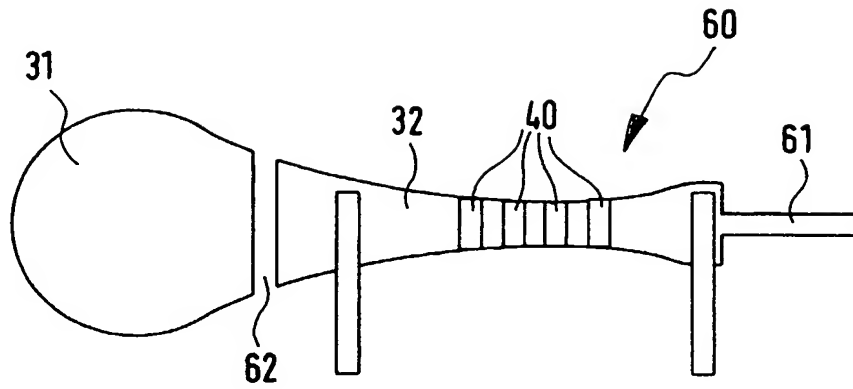
2 / 4

*Fig. 2a**Fig. 2b*

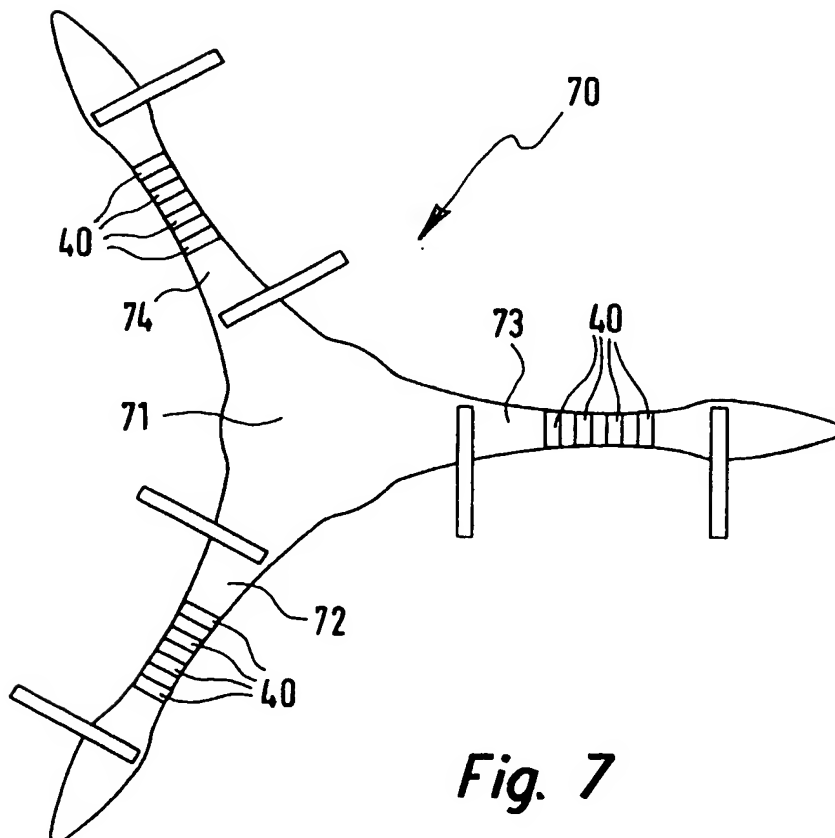
3 / 4



4 / 4



*Fig. 6*



*Fig. 7*

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

EP 03/05675

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDEGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01D5/16 H01F10/32 G01R33/09

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01D H01F G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 00/17660 A (BOSCH GMBH ROBERT ; FREITAG MARTIN (DE); JOST FRANZ (DE); TREUTLER CHR) 30. März 2000 (2000-03-30) das ganze Dokument	1-3,5,6, 8,9,13, 19,21-27
Y	-----	4,18,20
Y	US 6 219 212 B1 (GILL HARDAYAL SINGH ET AL) 17. April 2001 (2001-04-17) Spalte 6, Zeile 33 - Zeile 47 Spalte 7, Zeile 11 - Zeile 21 Spalte 8, Zeile 14 - Zeile 18; Abbildung 4a	4,18,20
A	DE 197 46 199 A (INST MIKROSTRUKTURTECHNOLOGIE) 22. April 1999 (1999-04-22) Zusammenfassung	23

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. Oktober 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/10/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Keita, M

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

5/EP 03/05675

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0017660	A	30-03-2000	DE	19843350 A1		23-03-2000
			AU	759533 B2		17-04-2003
			AU	4131099 A		10-04-2000
			WO	0017660 A1		30-03-2000
			EP	1046040 A1		25-10-2000
			JP	2002525857 T		13-08-2002
			US	6534978 B1		18-03-2003
US 6219212	B1	17-04-2001	JP	3233396 B2		26-11-2001
			JP	2000105912 A		11-04-2000
			KR	2000022772 A		25-04-2000
			SG	78387 A1		20-02-2001
DE 19746199	A	22-04-1999	DE	19746199 A1		22-04-1999